

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Dočasná protikoroziční ochrana konstrukcí žárově
zinkovaných ponorem**

**Temporary Corrosion Protection of Hot Dip Galvanized
Steel Structures**

Student:

Štěpán Pořízek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student:

Štěpán Pořízek

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Dočasná protikorozní ochrana konstrukcí žárově zinkovaných ponorem
Temporary Corrosion Protection of Hot Dip Galvanized Steel Structures

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku žárového zinkování materiálu
2. Prostudujte problematiku duplexních systémů
3. Prostudujte problematiku koroze materiálu
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací
5. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení
6. Zpracujte technickou zprávu

Seznam doporučené odborné literatury:

KUKLÍK, Vlastimil a Jan KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014, 199 s. ISBN 978-80-905298-2-3.
MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 150 s. ISBN 80-707-8953-0.
PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I: Určeno pro posl. 5. roč. Fak. strojní*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994, 71 s. ISBN 80-707-8235-8.
ČSN EN ISO 1461. *Zinkové povlaky nanášené žárově ponorem na ocelové a litinové výrobky - Specifikace a zkušební metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. René Siostrzonek, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2015

..... Porciak

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO“) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18.5.2015

.....
Podpis

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Štěpán Pořízek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Oskava 248, 78801

Anotace bakalářské práce

PORÍZEK, Š.: *Dočasná protikorozi ochrana konstrukcí žárově zinkovaných ponorem*
Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické
technologie, 2015. Vedoucí bakalářské práce: Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Bakalářská práce pojednává o dočasné protikorozi ochraně konstrukcí žárově zinkovaných ponorem. Teoretické část popisuje korozi a protikorozi ochranu. Dále je zde pohled na žárově zinkování a korozi zinkových povlaků. V další části je shrnuta problematika duplexních a nátěrových systému. Experimentální část zkoumá nátěrovou hmotu nanesenou na žárově zinkovaný povrch. Výsledky experimentálních zkoušek byly zaznamenány a vyhodnoceny.

Annotation bachelor thesis

PORÍZEK, Š.: *Temporary Corrosion Protection of Hot Dip Galvanized Steel Structures*.
Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Mechanical Technology, 2015. Advisor bachelor thesis:
Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

The thesis deals with temporary corrosion protection of hot dip galvanized steel structures. The theoretical part describes corrosion and anticorrosion protection. The next chapter describes hot dip galvanizing and corrosion of zinc's coating. In the next part are summarized duplex system and coating system. The experimental part investigates coating material deposit on hot dip galvanized surface. The tests results were recorded and evaluated.

Seznam použitých značek a symbolů

Značka / Symbol	Význam
SO_2	Oxid siřičitý
HCl	Kyselina chlorovodíková
ZnCl_2	Chlorid zinečnatý
NH_4Cl	Chlorid amonný

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	6
Úvod	9
1. Koroze	10
1.1 Rozdělení koroze	11
1.2 Ochrana materiálu proti korozi	11
2. Žárové zinkování	13
2.1 Druhy žárového zinkování	14
2.2 Výhody a nevýhody žárového zinkování	16
3. Koroze zinkových povlaků	16
3.1 Koroze v atmosféře	17
3.2 Koroze ve vodách	18
3.3 Koroze v půdě	20
3.4 Galvanická koroze	20
4. Duplexní systémy	20
4.1 Životnost duplexního systému	21
4.2 Nanášení nátěrové hmoty na čerstvě pozinkované lesklé povrchy	22
4.3 Nanášení nátěrové hmoty na exponované matné povrchy	22
4.4 Čištění a předúprava povrchu	23
4.5 Oprava vad duplexního systému	23
5. Nátěrový systém	24
5.1 Organické povlaky z nátěrových hmot	24
5.2 Složení nátěrových hmot	25
5.3 Technologie nanášení nátěrových hmot	26
5.4 Sušení a vypalování nátěrů	29
6. Návrh experimentálních prací	30
7. Charakteristika vstupního materiálu	31
7.1 Značení vstupního materiálu	31
7.2 Příprava povrchu vstupního materiálu	31
8. Popis experimentálních prací	33
8.1 Hodnocení zaprášenosti povrchu	33
8.2 Měření drsnosti povrchu	34
8.3 Měření výšky kotvícího profilu	34
8.4 Měření povrchového napětí - Arcotest	35
8.5 Stanovení tloušťky suchého a mokrého nátěru	36

8.6	Mřížková zkouška přilnavosti a zkouška křížovým řezem.....	37
8.7	Odtřhová zkouška přilnavosti	38
8.8	Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou.....	39
9.	Výsledky experimentálních prací	40
9.1	Hodnocení zaprášenosti povrchu	40
9.2	Měření drsnosti povrchu	40
9.3	Měření výšky kotvícího profilu	41
9.4	Měření povrchového napětí – Arcotest.....	41
9.5	Aplikace nátěru, měření mokré a suché tloušťky nátěru	42
9.6	Mřížková zkouška přilnavosti a zkouška křížovým řezem.....	43
9.7	Odtřhová zkouška přilnavosti	44
9.8	Zhotovení řezů a metalografických snímků nátěrového systému.....	45
9.9	Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou.....	46
	Závěr.....	52
	Seznam použitých zdrojů	53
	Seznam obrázků	56
	Seznam tabulek	57
	Poděkování	58

Úvod

Ocel je v současnosti nejpoužívanějším kovem. Jedním z největších problémů tohoto kovu je jeho korozní rychlost. V důsledku koroze dochází ke znehodnocování materiálu, které vede ke změnám vlastností kovu, což má za následek částečné nebo úplné rozrušení tohoto materiálu. Postupem času korodují všechny materiály, nejen kovy, ale i plasty, keramika, dřevo, nebo stavební materiály. Z tohoto důvodu je na povrchové úpravy materiálu kladen velký důraz.

Technologie povrchových úprav zasahuje do všech odvětví hospodářství. Povrchové úpravy rozhodují o funkčnosti, spolehlivosti, kvalitě a celkové užitné hodnotě materiálu. Organické nátěrové hmoty jsou nejstarším, nejběžnějším a nejvíce používaným prostředkem povrchové ochrany. Jsou užívány i díky své přijatelné ceně ve všech průmyslových oborech. Tvorí zhruba 85 % všech povlaků a jsou využívány především díky svému bariérovému působení.

Cílem bakalářské práce je zhodnotit transparentní nátěrový systém zastupující funkci dočasné protikorozní ochrany u žárově zinkovaných konstrukcí ponorem. Bakalářskou práci jsem rozdělil na dvě hlavní části. V teoretické části popisuji korozi, žárové zinkování, duplexní systémy a ochranu povrchu nátěrovými hmotami. V experimentální části pak zkoumám vybraný nátěrový systém a to nedestruktivními i destruktivními zkouškami.

1. Koroze

Korozní agresivita atmosfér v průmyslově vyspělých zemích od konce 19. století rostla se znečištěním ovzduší. Maximální znečištění bylo v padesátých a šedesátých letech 20. století. V důsledku environmentální politiky a ekonomických změn se v letech 1985-1995 snížilo znečištění ovzduší, především koncentrace SO_2 a zredukování kyselosti atmosférických srážek.

Koroze kovů je znehodnocování materiálu zapříčiněné chemickým nebo fyzikálním působením prostředí. Toto znehodnocení vede ke změnám vlastností kovu, jejichž výsledkem je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. V průběhu času korodují nebo se rozkládají na stabilní sloučeniny všechny materiály, tedy nejen kovy a jejich slitiny, ale i plastické, keramické, sklovité, silikátové materiály s výjimkou vzácných kovů.

Pro získání kovu z rudy je nutný přísun energie. Proto kov představuje vyšší stav než ruda. Během korozního děje se kov snaží přejít uvolněním energie do stabilního přírodního stavu, který již jednou měl. Samotný energetický stav není spouštěčem koroze. Ke vzniku koroze v běžném prostředí je zapotřebí přísun kyslíku a vody (relativní vlhkost $>60\%$). Ve střední Evropě jsou tyto podmínky splněny po většinu roku, tudíž korozní děje mohou probíhat. V současné době je ocel nejpoužívanější kov. Její velkou nevýhodou je právě vysoká korozní rychlost v běžném prostředí. Z ekonomického hlediska je tedy velmi důležité ocel chránit před korozí (obr. 1.1).



Obr. 1.1 – Svodidlo opatřené nátěrem a žárově zinkované [2]

1.1 Rozdělení koroze

Rozhodující vliv na korozi mají působící faktory (materiál, fyzikální podmínky systému, prostředí). Dle těchto faktorů rozdělujeme jednotlivé druhy korozi:

Tab. 1 – Rozdělení koroze [1]

Podle mechanismu	koroze chemická
	koroze elektrochemická
Podle vzhledu	koroze rovnoměrná
	koroze nerovnoměrná
Podle rozhodujícího korozního činitele	koroze za únavy materiálu
	koroze při napětí
Podle prostředí	koroze v atmosféře
	koroze ve vodě
	koroze v plynech
	koroze v půdě

Chemická koroze

Vlivem chemického působení vnějšího prostředí (plyn, vzduch, neelektrolyt jako nafta, benzen) je rozrušen kovový materiál. Příkladem chemické koroze je oxidace, kvůli které se na povrchu kovu objeví vrstva oxidů. Pokud vytvořená vrstva oxidů přilne k povrchu nebo je nepropustná, chemická reakce se zastaví nebo zpomalí. Jestliže je vrstva oxidů pórovitá nebo z povrchu kovu odpadává, chemická reakce mezi kovem a prostředím může pokračovat až do doby, než je celý materiál rozrušen

Elektrochemická koroze

Vlivem styku materiálu s elektricky vodivým prostředím dochází ke korozi spojené s přenosem elektrického náboje za vzniku galvanického článku. Prostředím mohou být kapalně roztoky kyselin, zásad a solí, které jsou rozpuštěné ve vodě.

1.2 Ochrana materiálu proti korozi

Při volbě protikorozní ochrany ocelových součástí nebo konstrukcí je třeba brát v úvahu mnoho technických faktorů. Je nutné zmapovat prostředí, kde budou objekt či konstrukce umístěny, stejně tak i zatížení vznikající při dopravě, skladování nebo montáži. To platí zvláště pro konstrukce, které se musí dopravovat na velkou vzdálenost, například přes moře. Provedení konstrukce a její velikosti i snadná kontrola ochranného povlaku jsou další významné faktory. [2]

Je důležité si uvědomit, že základem pro posouzení ekonomického dopadu na protikorozi ochranu nejsou jen vstupní náklady, ale celkové náklady po dobu funkčnosti nebo užití celé konstrukce. Celkové náklady zahrnují pořizovací náklady, náklady na balení, dopravu, opravy v důsledku poškození během transportu či montáže a náklady na údržbu a ochranu životního prostředí.

Základní poznatky o mechanismu a kinematice koroze umožňují odvodit možnosti jak korozi zabránit, nebo ji zpomalit na přijatelnou míru z důvodu zvýšení životnosti výrobku. [1]

Cílem povrchové úpravy je docílení kvalitativně nových vlastností, odlišných od vlastností původního materiálu. Zamezení koroze kovových materiálů lze docílit následovně:

Legování

Přídavkem dalších základních materiálů docílíme korozivzdornosti materiálu. Legujícím prvkem je například chrom, který dobře odolává atmosférické korozi. Přídavkem niklu nebo molybdenu může být korozivzdornost ještě zvýšena. Takto legované oceli jsou v porovnání s nelegovanými nebo nízkolegovanými oceli výrazně dražší, proto je nutné ověřit, zda budou slitiny korozně odolné v prostředí, kterému budou vystaveny.

Změna korozního prostředí

Odstraněním nebo snížením koncentrace agresivních složek korozního prostředí snižujeme rychlost koroze kovových materiálů, resp. převádíme daný korozní systém do pasivního stavu. Lze využít vysoušedel ve spojení s hermetickým balením, vyhřívání za účelem snížení relativní vlhkosti, komplexní sloučeniny chlorofylinu s mědí a sodíkem, které váží plynné sloučeniny síry, nebo použitím inhibitorů koroze. [1]

Elektrochemická ochrana

Ochrany lze docílit buď anodickou, nebo katodickou ochranou. Anodická ochrana využívá princip galvanické koroze, kovy se vědomě uspořádají tak, aby jeden mohl korodovat a tím chránit druhý kov. Metoda funguje bez anebo s použitím stejnosměrného proudu. Katodické ochrany lze využít jen za přítomnosti elektrolytu (voda, vlhká půda). Proto

se metoda používá k ochraně lodních trupů, nádrží, potrubí, pobřežních zařízení apod. Obětované anody jsou většinou vyráběny ze zinku, hořčíku nebo jejich slitin.

Ochranný povlak

Vytváření povlaku na základním materiálu patří mezi nejběžnější úpravy povrchu, které zajišťují protikorozi ochranu materiálu, mění povrchové vlastnosti i vzhled materiálu (obr. 1.2). Povlak může být z organického nebo anorganického materiálu. Účelem je zabránit přístupu vlhkosti a kyslíku k povrchu oceli. Optimální povlak zabezpečuje požadované vlastnosti výrobku s minimálními finančními náklady na jeho vytvoření a údržbu.



Obr. 1.2 – Ochranný povlak

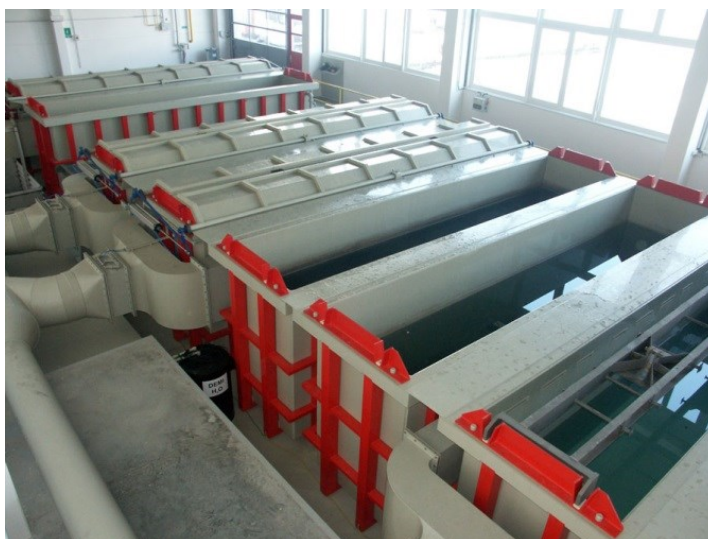
2. Žárové zinkování

Před samotným žárovým zinkováním je nutné provést úpravy povrchu součásti, při kterých jsou z povrchu odstraněny veškeré nečistoty. V případě znečištění povrchu oceli struskou, nebo barvou nerozpustnou ve vodě, je nutné provést mechanické očištění. U odlévaných součástí je nutné odstranit zbytky formovacího písku, které moření součásti neodstraní. [3]

Tuky a oleje jsou odstraněny alkalickým nebo kyselým odmašťováním. Následuje oplach teplou vodou odstraňující zbytky odmašťovačů z povrchu výrobku, čímž je zamezeno případnému znečištění mořicí lázně. Moření je realizováno ponorem v kyselině chlorovodíkové nebo kyselině sírové (obr. 2.1). Při procesu dojde k rozpuštění oxidů. Doba moření se pohybuje v rozmezí 15 – 20 minut a mění se v závislosti na stupni oxidace povrchu

součástí a koncentraci kyseliny. Po moření je nutné provést oplach studenou vodou, který odstraní zbytky kyseliny. V současnosti je odmašťování realizováno v lázních s tenzidy a bakteriemi, které jsou z hlediska ekologie přívětivější. Výhodou je i ekonomická stránka, protože jsou vynechány oplachy teplou a studenou vodou. [2,4]

Před vložením do zinkovací lázně je nutné na povrch součásti nanést tavidlo. Úkolem tavidla je odstranit zbytky oxidů po moření, zabránit tvorbě dalších oxidů a snížit povrchové napětí na povrchu materiálu, což vede k dokonalejšímu pokrytí součásti roztaveným zinkem. Tavidlo je možné na výrobek nanést dvěma způsoby – suché a mokré zinkování. Teplota zinkovací lázně je 445 až 460 °C. Dobu ponoření určují parametry součásti a obvykle je 30 - 60 vteřin na 1 mm tloušťky materiálu. [2,4]



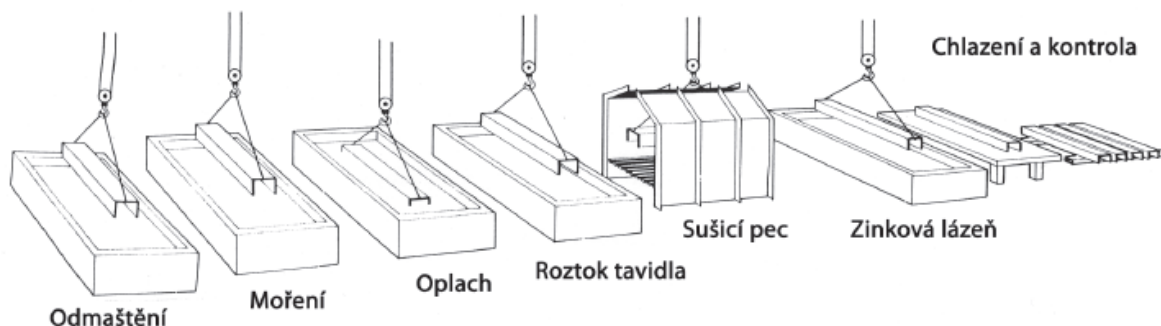
Obr. 2.1 – Moření ponorem [5]

2.1 Druhy žárového zinkování

Suché zinkování

Výrobky jsou vloženy do tavidlové lázně, která je složena z vodných roztoků chloridu zinečnatého a chloridu amonného a poté se usuší. Obsah železa v tavidle se udržuje na hodnotě okolo 1 g/l což zabraňuje tvorbě tvrdého zinku v zinkovací lázni. Vzniklá vrstva tavidla zabraňuje oxidaci součásti a zároveň čistí hladinu zinkovací lázně od oxidů. Před a po vložení výrobku do zinkovací lázně je nutno z hladiny roztaveného zinku stahovat popel, který je tvořen spáleným tavidlem a oxidy zinku. Po vyjmutí výrobku z lázně se zboží ochlazuje a to buď ve vodě, nebo na vzduchu. Pokud následná kontrola neodhalí poškození

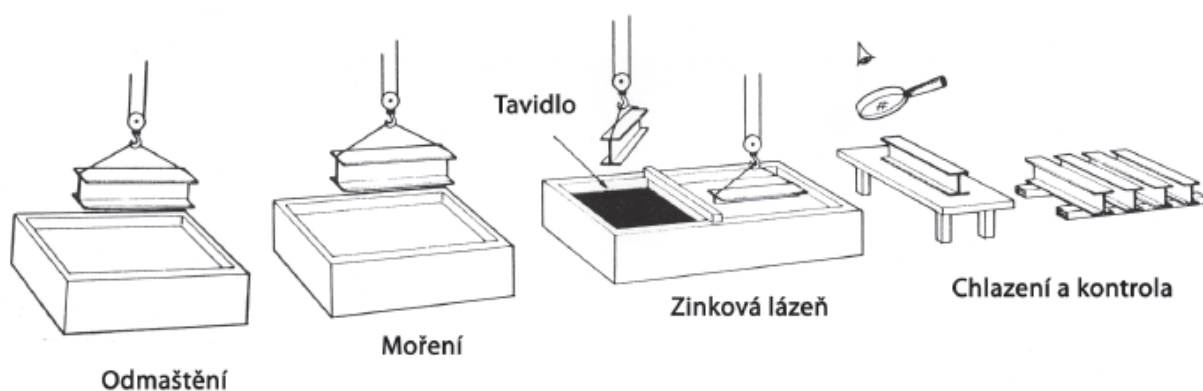
povlaku je zboží zabaleno a expedováno. Postup suchého zinkování je znázorněn na obrázku 2.2. [2, 16]



Obr. 2.2 – Postup suchého zinkování [2]

Mokrý zinkování

U mokrého způsobu zinkování je zinkovací lázeň rozdělena pomocí přepážky. V první části vany je na roztaveném zinku vrstva tavidla, kterým je chlorid amonný. Po odmaštění a moření je součást ponořena do zinkovací lázně přes vrstvu roztaveného tavidla. Následně je zboží přesunuto do druhé části vany, ve které je hladina bez tavidla. Před vyjmutím součásti je nutné z hladiny stáhnout popel a oxidy zinku. Ochlazení součásti probíhá buď ve vodě, nebo na vzduchu. Po ochlazení je zboží připraveno ke kontrole, zabalení a expedici. Postup mokrého zinkování je znázorněn na obrázku 2.3. [2,16]



Obr. 2.3 – Postup mokrého zinkování [2]

2.2 Výhody a nevýhody žárového zinkování

Mezi výhody patří:

- a) nízké vstupní náklady,
- b) dlouhá životnost povlaku, která snižuje náklady na opravy,
- c) minimální riziko vzniku chyb při zhotovování povlaku,
- d) vysoká kvalita povlaku i na obtížně přístupných plochách,
- e) na hranách součásti je stejná nebo větší tloušťka povlaku než na rovinných plochách,
- f) odolnost zinkového povlaku proti mechanickému poškození,
- g) katodická ochrana oceli,
- h) svařitelnost žárově zinkované oceli není omezena,
- i) snadná kontrola. [2,4]

Mezi nevýhody patří:

- a) pevná zařízení neumožňují provádět úpravy na místě,
- b) barva zinkového povlaku nelze měnit,
- c) velikost zinkovací lázně definuje maximální velikost dílce,
- d) riziko deformace povrchů tvářených za studena vlivem tepla,
- e) svařování pozinkované oceli je z hlediska bezpečnosti náročnější než svařování nepovlakované oceli, je zde riziko zinkové horečky při vdechnutí exhalací. [2,4]

3. Koroze zinkových povlaků

V současné době je ocel nejpoužívanějším materiálem. Vzhledem k její vysoké korozní rychlosti má ochrana výrobků a konstrukcí velký význam. Proto jsou zinkové povlaky vhodnou a účinnou ochranou.

Zinkový povlak chrání ocel dvojím způsobem:

- bariérovým působením – zabraňuje přístupu vlhkosti a kyslíku k povrchu oceli,
- katodickou ochranou – v místě porušení vrstvy zinku jako jsou odloupnutí, střížné hrany nebo škrábance.

Zinek má velký sklon ke korozi. Jeho korozní rychlost je však ve většině prostředí nízká, což je dáno tím, že se povrch zinku pokrývá korozními produkty, které chrání proti další korozi.

3.1 Koroze v atmosféře

Po vyjmutí výrobku ze zinkovací lázně dochází k reakci povrchu součásti se vzdušným kyslíkem. Na povrchu součásti se tvoří oxid zinečnatý. Tento děj dále pokračuje působením atmosférické vlhkosti a oxidu uhličitého se tvoří zásadité uhličitany zinku, které se vyznačují výbornou přilnavostí a jsou konzistentní. Uhličitany zinku jsou ve vodě téměř nerozpustné, a proto tvoří dobrou ochranu zinkového povrchu. Ve vzduchu je dále obsažen oxid siřičitý, který má na vrstvu zinku neblahý vliv, protože přetváří zásadité uhličitany zinečnaté na snáze rozpustný síran zinečnatý nebo siřičitan zinečnatý. Vrstva zinkového povlaku vystavená několik měsíců v atmosféře je vyobrazena na obrázku 3.1. [2]



Obr. 3.1 – *Exponovaný povrch zinkového povlaku*

Rychlost koroze zinkového povlaku ovlivňuje také obsah soli, který je obsažen ve vzduchu. Jedná se například o přímořská prostředí nebo prostředí ovlivňované zimní údržbou. V mořském vzduchu je obsaženo i malé množství hořčnatých solí, které disponují dobrými pasivačními účinky. Díky tomu není rychlost koroze tak rychlá jak by se očekávalo. Směrem do vnitrozemí obsah soli ve vzduchu rychle klesá.

Tab. 2 - Stupně korozní agresivity atmosféry podle ČSN EN ISO 12944 [13]

Stupně korozní agresivity	Úbytky hmotnosti na jednotku plochy/úbytky tloušťky (po prvním roce expozice)			
	uhlíková ocel		zinek	
	Úbytek hmotnosti g/m ²	Úbytek tloušťky μm	Úbytek hmotnosti g/m ²	Úbytek tloušťky μm
C1 Velmi nízká	≤10	≤1,3	≤0,7	≤0,1
C2 nízká	>10 až 200	>1,3 až 25	>0,7 až 5	>0,1 až 2,1
C3 střední	>200 až 400	>25 až 50	>5 až 15	>0,7 až 2,1
C4 vysoká	>400 až 650	>50 až 80	>15 až 30	>2,1 až 4,2
C5-I velmi vysoká (průmyslová)	>650 až 1500	>80 až 200	>30 až 60	>4,2 až 8,4
C5-M velmi vysoká (přímořská)	>650 až 1500	>80 až 200	>30 až 60	>4,2 až 8,4

Červenohnědé zabarvení

Vyskytuje se u křemíkem uklidněných ocelí, které v zinkové vrstvě obsahují velký podíl slitinových fází železo – zinek. Železo se uvolňuje a spolu s vlhkostí nebo s vodou způsobuje rez, která mění barvu zinkového povlaku na červenohnědou. Toto zabarvení nesnižuje protikorozi ochranu. [2]

3.2 Koroze ve vodách

Po ponoření zinkované součásti do vody se většinou vytvoří na povrchu ochranná vrstva korozních produktů. Na rychlost koroze má největší vliv pH vody, obsah pevných či rozpuštěných agresivních látek, proudění a teplota vody. Velký význam má i elektrochemická koroze.

Pokud je pH kapaliny v rozmezí od 5,5 do 12,5 je rychlost koroze nízká a stabilní. Pokud je součást vystavena proudící vodě o rychlosti přesahující 0,5 m/s nevytváří se ochranná vrstva a rychlost koroze se zvyšuje. Velkou roli hraje i teplota. Při 55 °C začíná ochranná vrstva hrubnout a ztrácí přilnavost. Tato vrstva následně odpadne a je odhalen nový povrch

zinku, který je napadán. Maximální korozní rychlosti je dosaženo při 70 °C, avšak další nárůst teploty rychlost koroze snižuje. Při 100 °C je rychlost koroze stejná jako při 50 °C. [2]

Tvrdá voda není pro zinkový povlak agresivní, protože obsahuje hořčík a vápník. Tyto prvky vytvářejí spolu s kyselinou uhličitou na povrchu zinku těžko rozpustné uhličitany a tím zabraňují další korozi.

V měkkých vodách je zinek napadán, což je dáno deficitem solí. Pasivační vrstva se tak nevytváří. V ojedinělých případech může dojít ke změně polaritě mezi zinkem a ocelí, kdy se z ocele stane anoda – rozpouštějící se elektroda. V těchto případech následně vzniká bodová koroze. Změně polaritě zabraňují sírany, chloridy a kyselina uhličitá, toto riziko nastává u velmi čisté vody.

Bílá rez

Bílá rez je častý úkaz, kdy se na zinkovaném povrchu vytváří objemný prach. Nejčastěji se vytváří na špatně uskladněných výrobcích, kde není zajištěn odtok dešťové vody nebo na výrobcích kde voda zkondenzuje (obr. 3.2). Plochy přístupné větru na nichž se vytvoří ochranná vrstva jsou napadeny zřídka. Jakmile je zajištěn dostatečný přístup vzduchu korozní napadení končí a vlivem povětrnostních podmínek je bílá rez odstraněna. Napadení bílou rzí je nebezpečné u velmi tenkých zinkových povlaků například při elektrolytickém zinkování, kde může být ohrožena životnost a funkčnost výrobku. U větších tloušťek povlaku nepředstavuje bílá rez nebezpečí.



Obr. 3.2 – Bílá rez

3.3 Koroze v půdě

Určení korozní rychlosti v půdě je velmi komplikované a závisí na mnoha faktorech zeminy. Mezi hlavní patří obsah vody, pórovitost, propustnost, schopnost zadržování vody, množství srážek v dané oblasti, sklon půdy, obsah solí, měrný odpor nebo konstrukční uspořádání konstrukce. Zásadní vliv má hodnota pH, která se mění dle druhu půdy. U vápencové a pískovcové půdy je korozní agresivita malá. Naopak u jílovité, rašelinové zeminy je korozní úbytek největší. [2]

3.4 Galvanická koroze

Podmínkou k vytvoření galvanického článku je obklopení dvou různých kovů elektrolytem. Následně se jeden kov stává anodou a druhý katodou, dle elektrochemického potenciálu v daném prostředí. Například při spojení oceli s mědí či mosazí se stane ocel anodou, tudíž bude korodovat. Při spojení oceli a zinku se anodou stává zinek a ocel je chráněna před případnou korozi. Žárovým zinkováním je zaručen dostatečný elektrický kontakt mezi ocelí a zinkem. Pokud je zinkový povlak poškozen a v místě poškození je dostatečná vlhkost vznikne galvanický článek. Rozpouštějící anodou je zinek a volný povrch oceli je chráněná katoda. V místě poškození zinku vznikají málo rozpustné zinečnaté sloučeniny a ocel je chráněna před napadením. Katodická ochrana je natolik účinná, že poškození povlaku nevede ke zhoršení protikorozi ochrany. [2]

4. Duplexní systémy

Duplexním nátěrovým systémem se rozumí systém skládající se z žárově zinkovaného povlaku ponorem a nátěrové hmoty. Tato kombinace se ukázala jako nejúčinnější způsob ochrany oceli proti korozi pro požadovanou životnost. Samotné žárové zinkování poskytuje konstrukcím dostatečnou protikorozi ochranu, v určitých agresivních prostředích je však potřeba tuto ochranu zesílit. Duplexní systém je vhodné aplikovat, pokud předpokládáme obtížně proveditelnou údržbu, nebo pokud je zinkový povlak tenký (kontinuálně zinkované plechy). Dalším důvodem nanášení povlaku na žárově zinkovanou konstrukci může být estetický a bezpečnostní požadavek.

4.1 Životnost duplexního systému

Duplexní systém vyniká mnohem delší životností než jeden z povlaků samostatně. Doba ochrany je až 2,5krát vyšší. Životnost systému lze spočítat dle jednoduchého vzorce:

$$L_T = K \cdot (L_{Zn} + L_F),$$

kde

L_T je životnost duplexního systému v letech,

L_{Zn} je životnost zinkového povlaku v daném prostředí,

L_F je životnost organického povlaku v daném prostředí,

K je synergický faktor pro dané prostředí

- 1,5 pro stupeň korozní agresivity C5,
- 1,6-2,0 pro stupeň korozní agresivity C3 a C4,
- 2,1-2,3 pro stupeň korozní agresivity C2. [2]

Na výslednou životnost systému má velký vliv přilnavost organického povlaku k povrchu zinku. Povrch zinku musí být dostatečně očištěn. Nanášení nátěru na zinkový povlak je z určitého pohledu náročnější než na jiné povrchy. I malé množství nečistot nebo špatně zvolený typ nátěrové hmoty může za tvorbu puchýřů nebo odlupování již po krátké době.

Životnost duplexního systému je výrazným způsobem ovlivněna následujícími faktory:

- druh ochranného systému,
- konstrukční řešení,
- stav materiálu před přípravou povrchu,
- kvalita provedení přípravy povrchu,
- kvalita nanesení povlaku,
- podmínky při nanášení povlaku,
- podmínky při schnutí povlaku,
- podmínky, kterým je povlak vystaven (klimatické podmínky, stupeň korozního zatížení, apod.),
- údržba ocelové konstrukce (způsob, kvalita, četnost) [6,19]

I přes výše uvedené faktory zkracující dobu životnosti duplexního systému, poskytují duplexní systémy velmi kvalitní a dlouhodobou ochranu ocelových konstrukcí před působením koroze.

4.2 Nanášení nátěrové hmoty na čerstvě pozinkované lesklé povrchy

Mnohdy je kovově lesklý zinkový povrch považován za dostatečně čistý k nanesení nátěru. V mnoha případech tomu tak není a výsledný povlak je neuspokojivý. Z hlediska nanášení nátěru je vhodné, aby:

- Výrobek nebyl chlazen ve vodě. Chladicí voda obsahuje různé soli, které se usazují na zinkovém povrchu a zhoršují přilnavost budoucího nátěru.
- Výrobek nebyl po vyjmutí ze zinkové lázně skladován v prostoru zinkovny. Před částí zinkovny kde probíhá samotné žárové zinkování ponorem, je prováděno moření za účelem technicky čistého povrchu. Moření probíhá nejčastěji v kyselině chlorovodíkové (HCl). Před samotným zinkováním je používáno tavidlo, roztok chloridu zinečnatého (ZnCl_2) a chloridu amonného (NH_4Cl). Tyto přípravky uvolňují do ovzduší částice, které negativně ovlivňují přilnavost a celkovou životnost nátěrového systému,
- Nebyl zinkový povlak znehodnocen následujícími vadami: Viditelné hrudky, drsné plochy, ostré výstupky, výrazně překročená tloušťka zinkového povlaku, nálitky, aj. Tyto vady výrazně snižují životnost nátěrového systému. [2,19]

4.3 Nanášení nátěrové hmoty na exponované matné povrchy

Exponovaný zinkový povrch je pro nanesení nátěru nevhodný. Je vždy pokryt korozními produkty, obsahující hygroskopické nebo vodou rozpustné soli. Nátěry jsou více či méně rozpustné ve vodě, pokud tedy nebyly z povrchu zinku odstraněny ve vodě rozpustné produkty, vytvoří se pod vrstvou nátěrové hmoty puchýře obsahující roztoky solí. V těchto puchýřích zinkový podklad koroduje, což má za následek odlupování nátěrové hmoty. [2]

4.4 Čištění a předúprava povrchu

Sweepování – lehké otrýskání povrchu zinku – se dle dosavadních zkušeností jeví jako nejlepší metoda přípravy povrchu před aplikací nátěrových hmot. Z povrchu součásti jsou tímto mechanickým opracováním odstraněny všechny korozní produkty, nečistoty, i bílá rez. Zároveň tato metoda zvyšuje drsnost a tím i mechanické ukotvení nátěrové hmoty, což je vhodné pro lesklé a hladké zinkové povlaky. Důležité je dodržení vhodných parametrů sweepování. Nedostatečné mechanické opracování způsobí horší přilnavost materiálu. Příliš silné otrýskání znehodnotí zinkovou vrstvu, nebo způsobí pnutí, které má za následek odlupování vrstvy nátěru. Při správných parametrech je odstraněno přibližně 10 µm zinkového povlaku. [11]

Pokud nelze provést sweepování, doporučuje se pracovní postup pro průmyslové lakování:

1. alkalické odmaštění,
2. pečlivý oplach vodou,
3. fosfátování,
4. pečlivý oplach vodou,
5. sušení,
6. lakování.

Při ručním nanášení nátěru se doporučuje použít emulgující odmašťovadlo, které může být zkombinováno s kartáčováním či broušením a následným vysokotlakým oplachem vodou.

4.5 Oprava vad duplexního systému

Veškeré vzniklé vady výrazně snižují životnost celého systému, ať už se jedná o vady vzniklé při zhotovování duplexního systému, při převozu, manipulaci nebo při montáži. V poškozených místech se bude koroze vytvářet přednostně.

Vady duplexního systému zasahující až na podkladový ocelový povrch

Opravu lze realizovat žárovým stříkáním zinku, nanesením nátěru obsahující pigment z práškového zinku, nátěrem ze zinkových mikrolamel popřípadě použitím zinkové pasty. Dalším řešením může být použití pájky ze slitiny zinku. Technologicky nejpříjemnější

způsob opravy duplexního systému je oprava nanesením nátěrové hmoty. Povrch výrobku musí být ručně nebo mechanizovaně očištěn a přechod do neporušeného okolního povlaku by měl být plynulý. [6]

Vady duplexního systému zasahující na povlak žárového zinku

Pokud poškození nátěru zasahuje až na povlak žárového zinku, je doporučeno provést ruční nebo mechanizované očištění povrchu s plynulým přechodem do okolního nátěru. Následné nanášení nátěru je prováděno buď štětcem nebo válečkem, dokud není docíleno požadované tloušťky nátěru. [6]

Povrchové vady nátěru duplexního systému

Poškození nátěrové hmoty je doporučeno přebrousit smirkovým papírem, tak aby byl přechod do okolního nátěru pozvolný a plynulý. Nanášení nátěru se provede štětcem nebo válečkem na požadovanou tloušťku nátěru. [6]

5. Nátěrový systém

Ochranný účinek nátěrového systému je založen především na bariérovém působení – zabraňuje přístupu kyslíku a vlhkosti k povrchu. Někdy může být tento účinek doplněn o inhibiční působení látek obsažených v nátěru. [7]

5.1 Organické povlaky z nátěrových hmot

Organické nátěrové hmoty jsou nejstarším, nejběžnějším a nejvíce používaným prostředkem povrchové ochrany. Jsou užívány i díky své přijatelné ceně ve všech průmyslových oborech. Tvoří zhruba 85 % všech povlaků. Nátěrové hmoty disponují vysokým ochranným účinkem, snadností a dostupností způsobu vytváření povlaků. Nátěry jsou snadno opravitelné. Aplikace není omezená tvarem a velikostí výrobku a nevyžaduje složitá zařízení.

Nátěrové hmoty jsou aplikovány především díky svému ochrannému účinku (proti povětrnosti, mořské vodě, jsou olejuvzdorné, ohnivzdorné, antivibrační). Mohou být využívány kvůli dalším specifickým účelům jako např. dekorativní, signální, maskovací, fungicidní, baktericidní, svítící, matovací, elektrovedivé a jiné. [7]

Nátěr lze definovat jako souvislý povlak požadovaných vlastností, který vznikne nanesením a zaschnutím jedné nebo více nátěrových vrstev na upravovaném povrchu. Počet nanesených vrstev určuje, zda je nátěr jedno nebo vícevrstvý. Nátěry se dále dělí podle vlastností a účelu, vzhledu a pořadí v nátěrovém systému. Jako příklad lze uvést napouštěcí nátěry, tmely, základní barvy, vrchní barvy, podkladové barvy, emaily a jiné. [7]

Nátěrovými hmotami pojmenováváme všechny výrobky používané k provádění nátěrů. Jsou to organické látky v tekutém nebo těstovitém tvaru, které po nanesení vytvoří na povrchu součásti souvislý film určitých vlastností. Pro zhotovení organických povlaků lze použít i práškové makromolekulární látky. K jejich využití je potřeba náročnější technologie spojená s práškovými nátěrovými hmotami a práškovými plasty. Nátěrové hmoty se skládají z pojiva, pigmentu, plnidla a aditiva.

5.2 Složení nátěrových hmot

Pojivo je nejvýznamnější součást nátěrové hmoty. Určuje charakteristické fyzikální vlastnosti. Pojivo je složeno z rozpouštědla a filmotvorných látek. **Filmotvorné látky** mají zásadní vliv na ochrannou účinnost a životnost nátěru. Chemické vazby mezi těmito látkami určují, jestli bude nátěr odolný vůči kyselinám, hydroxidům nebo povětrnosti. Mezi filmotvorné látky jsou zařazeny též změkčovadla. **Změkčovadla** jsou netěkavé látky, které buď nabobtnávají, nebo rozpouštějí filmotvorné složky. Nátěry díky nim získávají požadovanou pružnost a vláčnost a je snížena jejich tvrdost a křehkost. **Rozpouštědla** jsou těkavé látky, které mají za úkol rozpouštět filmotvorné látky a tím docílit požadované viskozity. [7]

Pigmenty určují zabarvení a neprůhlednost nátěrové hmoty. Mohou být anorganické nebo organické povahy (nejčastěji oxidy nebo soli kovů) a lze je rozdělit do tří skupin:

- Inhibiční pigmenty
- Neutrální pigmenty
- Stimulující pigmenty

Každá skupina pigmentů se ve styku s chráněným kovem za přítomnosti vody, kyslíku a jiných látek chová rozdílně. Inhibiční pigmenty mají za následek zpomalení koroze, vlivem katodické reakce popřípadě ovlivňují průběh anodické reakce. Neutrální pigmenty neovlivňují rychlost koroze a stimulující pigmenty rychlost koroze zvýší.

Při volbě pigmentace se čerpá ze znalostí korozního prostředí, vlastností pigmentů a filmotvorných látek. V úvahu se bere i životnost nátěru, velikost objemového podílu pigmentů a plnidel.

Plnidla jsou minerální látky nerozpustné v pojivech. Jejich účelem je vhodně upravovat technologické vlastnosti nátěrových hmot (po zaschnutí zabraňují smrštění filmu). Patří mezi ně například křída, těživec nebo mastek a obvykle jsou jemně rozemlety. [7]

Aditiva zastávají podobnou funkci jako plnidla tzn. vhodně upravují fyzikální a technologické vlastnosti nátěrové hmoty. Patří mezi ně emulgátory, zvláčňovadla, sušidla, stabilizátory a jiné. [7]

5.3 Technologie nanášení nátěrových hmot

Před nanášením nátěrových hmot zaujímá nezastupitelnou roli úprava chráněného povrchu. Přibližně 70 % poškození nátěrů je způsobeno právě nedostatečnou nebo nedokonalou přípravou upravovaného profilu. Mastnoty na povrchu materiálu způsobují nedokonalé zakotvení nátěru a zpomalují jeho zasychání. Podobně působí i neodstraněné zbytky předešlých nátěrů, prach, korozní zplodiny, rez, okuje a jiné. Je-li nátěr nanesen na zrezivělý povrch, nezabraňuje korozi pod ním, protože ve rzi je obsaženo až 6 % vody, popřípadě zbytky solí pro vytvoření elektrolytu a pokračování koroze pod nátěrem. [7]

Volba nátěrové hmoty by měla být posuzována komplexně. Výrobek by měl být chráněn proti korozi a klimatickým jevům. Měla by být zabezpečena jeho provozní spolehlivost a životnost na celé období jeho technického života při zachování minimálních nákladů.

Kritéria při volbě technologie nanášení nátěrových hmot:

- Předmět (velikost, tvar, množství)
- Požadované konečné charakteristiky nátěru (vzhled, tloušťka, stupeň namáhání)
- Kvalita povrchu (pórovitost, stupeň čistoty, předběžné úpravy)
- Vlastnosti nátěrových hmot (rychlost schnutí, měrná vodivost, slévatelnost)
- Pracnost a ekonomie použití
- Dopad na životní prostředí

Technologie ručního nanášení nátěrových hmot je velmi rozšířený způsob zhotovování povlaků. Jedná se o jednoduchou a univerzální technologii, která je využívána především tam, kde nelze užít výkonnějších způsobů. Dále je uplatňována při opravách nátěrů (obr. 5.1). Mezi nevýhody lze zařadit nízkou produktivitu práce. Výhodou je mechanické zatlačení a rozpracování nátěrové hmoty do pórů upravovaného materiálu, což zvýší přilnavost. Technologie disponuje minimálními ztrátami. [7]



Obr. 5.1 – *Ruční nanášení nátěrové hmoty* [12]

Technologie pneumatického stříkání nátěrových hmot lze uplatňovat jako ruční proces nanášení s pomocí různých stříkacích kabin nebo jako mechanizovaný proces nanášení, kde je zapojena dopravní linka. Výhodou je rovnoměrný nástřík a hladký povrch. Hodí se pro rychle schnoucí nátěry, zvláště na velké plochy. Při pneumatickém stříkání je nátěrová hmota přiváděna do stříkací pistole pomocí stlačeného vzduchu a následně rozprášena na upravovaný povrch, kde vlivem povrchového napětí nastane vzájemné spojení rozprášené hmoty. Nevýhodou této technologie jsou vysoké ztráty nátěrové hmoty zapříčiněné přestříkem i ztráty rozpouštědel. Samotná nátěrová hmota musí mít nízkou viskozitu. [7]

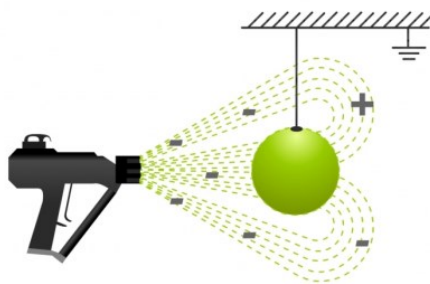
Technologie vysokotlakého stříkání nátěrových hmot (AIRLESS) se liší od pneumatického stříkání ve způsobu dopravy nátěrové hmoty do tryskové soustavy. Nátěrová hmota je v momentu opouštění ústí trysky hnána pouze tlakem nátěrové hmoty (8 – 25 MPa). Rozprašování je proto označováno jako mechanické. Výhodami této technologie je vysoká produktivita, snížený přestřík, díky němuž je ušetřeno až 30 % nátěrové hmoty a zlepšení hygienických podmínek. Dále je možné používat nátěrové hmoty s vyšší konzistencí, čímž je snížena spotřeba ředidel. Navíc lze touto technologií stříkat složitější tvary než metodou pneumatického stříkání. [7]

Technologie nanášení nátěrových hmot máčením představuje ekonomický a racionální způsob nanášení. Je využívána zejména při velkosériové výrobě kde lze proces mechanizovat. Ztráty nátěrové hmoty zastupuje pouze okap po vynoření a odpar ředidel z máčecí vany. Tloušťka nátěru je závislá na rychlosti vynořování, tvar nátěru je klínovitý. Nevýhodou je omezení tvaru součástí vhodných pro tuto technologii, kdy nelze nátěr aplikovat na výrobek který má kapsy. Během provozu je nutné lázeň s nátěrovou hmotou dostatečně promíchávat, abychom zabránili usazování a zajistili konzistenci nátěrové hmoty. [7]

Technologie nanášení nátěrových hmot poléváním je využívána především na automatických linkách a v nábytkářském průmyslu. Výhodou metody jsou minimální ztráty, protože přebytečná nátěrová hmota se vrací zpět. K technologii není potřeba velký objem nátěrové hmoty a je vhodná především pro rovinné plochy.

Technologie navalování nátěrových hmot je využívána u plochých a hladkých výrobků, zejména pak plechů, podlahových krytin nebo pro impregnaci látek. V současnosti se používá i k úpravě povrchu nekonečných kovových pásů ("coil-coating"). Hlavní výhodou této technologie je vysoký výkon nanášení a minimální ztráty nátěrových hmot (2 až 5 %). Celý proces lze mechanizovat a automatizovat. Mezi nanášené nátěrové hmoty patří laky, barvy a emaily. Nátěrová hmota lze nanést jednostranně ale i oboustranně.

Princip **technologie stříkání nátěrových hmot v elektrostatickém poli vysokého napětí** je založen na přitažlivosti dvou částic, které mají opačný elektrický náboj. Proces probíhá v účinném prostoru elektrostatického pole. Jemně rozptýlené částičky nátěrové hmoty putují po získání elektrostatického náboje prostorem směrem k uzemněnému předmětu (obr. 5.2). Dojde k odevzdání náboje a pomocí adhezivních sil ulpí na povrchu předmětu, na kterém vytvoří rovnoměrný povlak. Ztráty rozstříkem jsou sníženy na 5 až 25 % oproti konvenčnímu stříkání, což zlepšuje ekonomiku nanášení i hygienické podmínky při práci. [7]



Obr. 5.2 – Schéma elektrostatického stříkání [14]

5.4 Sušení a vypalování nátěrů

Dokonalé zaschnutí eventuálně vypálení nátěru je podmínkou pro získání požadované tvrdosti a odolnosti proti mechanickému a chemickému namáhání. Při zasychání probíhá řada fyzikálních a chemických pochodů:

- Vypaření (vytěkání ředidel, během něhož se vlastnosti nátěru nemění)
- Zasychání do stavu schopného manipulace
- Zasychání do stavu tvrdosti (povlak je připraven k použití)
- Stárnutí nátěru (konečná fáze schnutí)

Chemické reakce mohou být urychlovány přisoušením, které se dělí na:

- Zasychání při normální teplotě (okolo 20 °C)
- Přisoušení při teplotě 40 až 60 °C
- Vypalování při teplotě 80 až 250 °C

Přisoušení se volí z důvodu urychlení výrobního cyklu a uspořené pracovních prostorů. Vypalování se aplikuje na nátěrové hmoty obsahující teplem vytvrditelné pryskyřice.

6. Návrh experimentálních prací

Cílem bakalářské práce je studium ochranných vlastností moderního transparentního vodouředitelného nátěru aplikovaného na povrch žárově zinkovaný ponorem. Experimentální práce byly zaměřeny na hodnocení mechanických vlastností a korozní odolnosti testovaného nátěru.

Hodnocení povrchu vstupního podkladového materiálu

- Hodnocení zaprášení povrchu dle normy ČSN ISO 8502-3
- Stanovení drsnosti povrchu dle normy ČSN ISO 4287
- Měření výšky kotvícího profilu
- Měření povrchového napětí - Arcotest
- Makroskopická analýza vstupního materiálu pomocí optického mikroskopu Neophot 2

Příprava povrchu před aplikací nátěru

- Umělé zaprášení
- Odmaštění prostředkem SIMPLE GREEN
- Vybroušení smirkovým papírem

Aplikace nátěru

- Stanovení tloušťky nátěru dle normy ČSN EN ISO 2808

Zkoušky přilnavosti nátěrového systému

- Mřížková zkouška přilnavosti a křížový řez dle normy ČSN EN ISO 16276-2
- Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1

Metalografické hodnocení pomocí optického mikroskopu Neophot 2

Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle normy ČSN EN ISO 9227

- Mřížková zkouška přilnavosti a křížový řez dle normy ČSN EN ISO 16276-2
- Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1
- Hodnocení degradace nátěrového systému dle normy ČSN EN ISO 4628-2,4,5,8

7. Charakteristika vstupního materiálu

Výchozím experimentálním materiálem byl vybrán ocelový plech válcovaný za tepla dle normy EN 10149-2. Velikost experimentálních vzorků byla 150 x 100 x 3 mm. Všechny vzorky byly následně žárově zinkovány ponorem. Chemické složení oceli je uvedeno v tabulce 3. Testovanou nátěrovou hmotou je transparentní vodouředitelný nátěr obsahující nanočástice. Z důvodu probíhajícího patentového řízení nelze uvést podrobnější informace.

Tab. 3 – Chemické složení oceli

Chemické složení							
Prvek	C	Mn	Si	P	S	N	Al
Obsah [%]	0,0429	0,9890	0,0200	0,0100	0,0070	0,0069	0,0280

7.1 Značení vstupního materiálu

Do vzorků byla pro identifikaci vyražena čísla. Vzorky byly rozděleny do tří sad. Každá sada obsahuje tři vzorky a prezentuje jednu povrchovou úpravu.

- Vzorky číslo 10,11 a 12 byly uměle zaprášeny
- Vzorky číslo 64,65 a 66 byly odmaštěny
- Vzorky číslo 1,21 a 52 byly broušeny

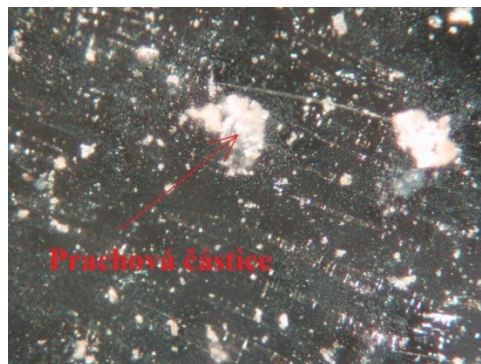
7.2 Příprava povrchu vstupního materiálu

První sada vzorků (vzorky 10,11 a 12) byla uměle zaprášena.

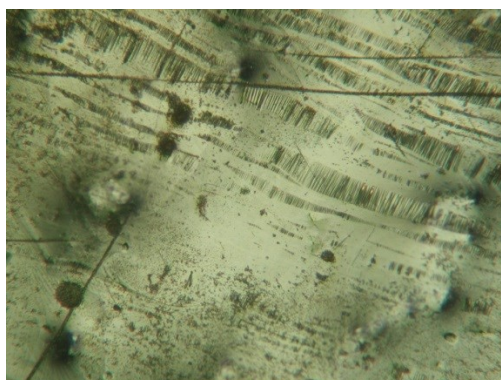
Druhá sada vzorků (vzorky 64,65 a 66) byla odmaštěna. Odmašťování je technologický proces, jehož účelem je zbavení povrchu výrobku mastnoty, olejů a jiných nečistot. Nečistoty jsou k povrchu vázány buď fyzikální adsorpcí (tuky apod.), nebo adhezními silami (prach, nečistoty aj.) Jako odmašťovací prostředek byl použit ekologický odmašťovací přípravek SIMPLE GREEN, který byl naředěn vodou z vodovodního řádu v poměru 1:10. Následně bylo změřeno pH a teplota odmašťovací lázně pomocí nástroje Eutech Instruments pH5+. Hodnota pH roztoku bylo 10,53 a teplota 23,3 °C. Poté došlo k umístění vzorků číslo 64,65 a 66 do odmašťovací lázně na dobu 10 minut. Následoval oplach v délce pěti minut vodou z vodovodního řádu. Posledním krokem bylo sušení vzorků v sušičce při teplotě 100 °C po dobu pěti minut.

Třetí sada vzorků (vzorky 1,21 a 52) byla ručně vybroušena smirkovým papírem o hrubosti P80. Každý vzorek byl nejprve vybroušen v podélném směru a následně ve směru příčném.

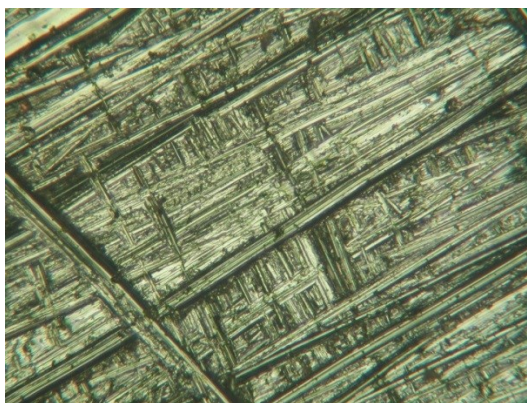
Povrchy jednotlivých vzorků byly zdokumentovány na mikroskopu Neophot 2, zvětšení 80x (obr. 7.1,7.2,7.3)



Obr. 7.1 – *Detail povrchu uměle zaprášeného vzorku*



Obr. 7.2 – *Detail povrchu odmaštěného vzorku*



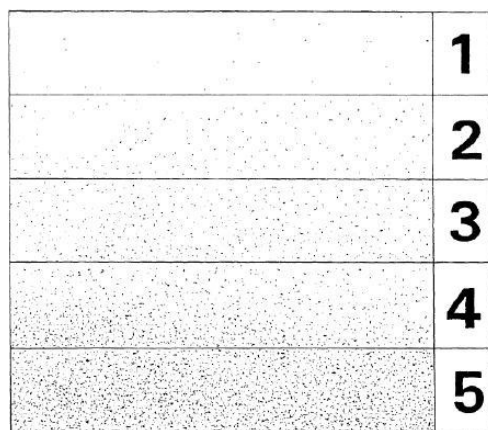
Obr. 7.3 – *Detail povrchu broušeného vzorku*

8. Popis experimentálních prací

8.1 Hodnocení zaprášenosti povrchu dle normy ČSN ISO 8502-3

Norma určuje metodiku pro stanovení zbytků prachových částic na očištěném ocelovém povrchu, který je připraven pro nanášení nátěrových hmot.

Pro vyhodnocení byla použita samolepící adhezivní páska, jež byla přitlačena na připravený povrch experimentálního vzorku. Následně byla páska odtržena pod úhlem 180°. Dalším krokem bylo nalepení pásy na kontrastní podklad, kterým byl bílý papír. Množství zachycených prachových částic bylo pozorováno prostým okem a lupou (zvětšení 10x) a posléze vyhodnoceno. Pomocí obrazové stupnice byl stanoven počet množství zachycených částic (obr. 8.1) a velikost prachových částic (viz tab. 4), které byli na pásce zachyceny.



Obr. 8.1 – Obrazová stupnice odpovídající množství prachu [15]

Tab. 4 – Třídy velikostí prachových částic [15]

Třída	Popis prachových částic
0	Částice neviditelné při zvětšení 10x
1	Částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μm v průměru)
2	Částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 μm a 100 μm v průměru)
3	Částice jasně viditelné prostým okem (částice do 0,5 mm v průměru)
4	Částice mezi 0,5 mm a 2,5 mm v průměru
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru

8.2 Měření drsnosti povrchu dle normy ČSN EN ISO 4287

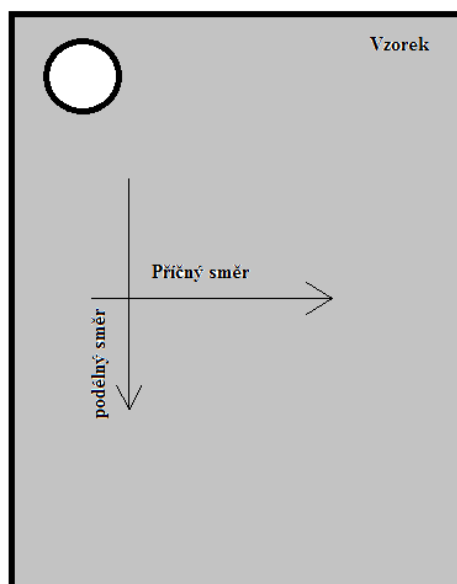
Měření probíhalo pomocí profilového drsnoměru Mitutoyo Surftest – 301. Charakteristické hodnoty byly měřeny hrotem drsnoměru dotykovou metodou.

Předmětem měření byli tyto hodnoty struktury povrchu:

Ra – střední aritmetická úchylka drsnosti [μm]

Rz - největší výška profilu [μm]

Měření drsnosti probíhalo nejdříve ve směru podélném a následně ve směru příčném (obr. 8.2).



Obr. 8.2 – Znáznornění příčného a podélného směru při měření drsnosti

8.3 Měření výšky kotvícího profilu

Pro stanovení výšky kotvícího profilu byly použity snímací pásy PRESS-O-FILMTM společnosti Testex a indikátorový přístroj Mitutoyo – dial thickness gauge.

K určení výšky kotvícího profilu je nutné nejdříve nalepit speciální pásku PRESS-O-FILMTM na povrch měřeného vzorku. Následně je plastovou kuličkou vyryt kotvící profil do určeného místa na pásce. Poté je páska od měřeného materiálu odlepena a určené místo na pásce vloženo mezi čelisti měřicího přístroje MITUTOYO. Pro získání výsledné hodnoty

velikosti kotvícího profilu je nutno od naměřené hodnoty odečíst tloušťku samotné pásky PRESS-O-FILM™. Sada pro stanovení výšky kotvícího profilu je na obrázku 8.3.



Obr. 8.3 – Sada pro měření výšky kotvícího profilu

8.4 Měření povrchového napětí - Arcotest

Povrchové napětí je rozhodujícím faktorem pro přilnavost povlaku. Čím vyšší je povrchové napětí materiálu, tím vyšší je přilnavost nátěrové hmoty. Při nízkém povrchovém napětí může být materiál chemicky nebo fyzicky ošetřen, čímž se dosáhne lepší přilnavosti. Důvodem k nízkému povrchovému napětí kovů může být znečištěný povrch (tuk, mastnota aj.) [17]

Samotný test se provádí sadou testovacích inkoustů (obr. 8.4). Inkoust je roztok o definovaném povrchovém napětí, který je nanesen na zkoušený materiál pomocí štětečku. Vytvořená dvacetimilimetrová čára by se neměla slévat, nebo vytvářet bubliny.



Obr. 8.4 – Sada inkoustů

8.5 Stanovení tloušťky suchého a mokrého nátěru dle normy ČSN EN ISO 2808

Norma charakterizuje metody, které se mohou být použity pro měření tloušťky nátěrů. Popisuje metody pro stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu. Tloušťka je definována jako vzdálenost mezi povrchem povlaku a povrchem podkladového materiálu.

Stanovení tloušťky mokrého nátěrového filmu pomocí hřebenové měrky

Metodou lze stanovit výšku právě nanesené mokré nátěrové hmoty. Hodnota se určuje pomocí hřebenové měrky (obr. 8.5), která je vyrobená z korozivzdorné oceli odolné proti rozpouštědlům obsaženým v nátěrové hmotě. U každého zubu je uvedena číslice, která určuje hodnotu mezery. Měrka musí být před každým přiložením na vrstvu nátěru řádně očištěna, nesmí být nijak poškozena či opotřebována. Hřeben je přikládán k materiálu tak, aby byli zuby vždy kolmo k rovině povrchu. Následně se měřící hřeben oddálí a určí se nejkratší zub, na kterém je zachycena nátěrová hmota.



Obr. 8.5 – Hřebenová měrka

Stanovení suché tloušťky nátěru magnetickou metodou

Ke stanovení tloušťky nátěru po zaschnutí byl použit přístroj Elcometer 456 (obr. 8.6). Přístroj vyhodnocuje výšku povlaku podle změn magnetického toku. Jedná se o nedestruktivní metodu – nátěrový systém není poškozen. V měřící sondě je zabudován elektromagnet a při měření musí být umístěn kolmo k měřenému povlaku. Po přiložení měřící sondy k materiálu se zobrazí hodnota tloušťky povlaku na displeji přístroje.



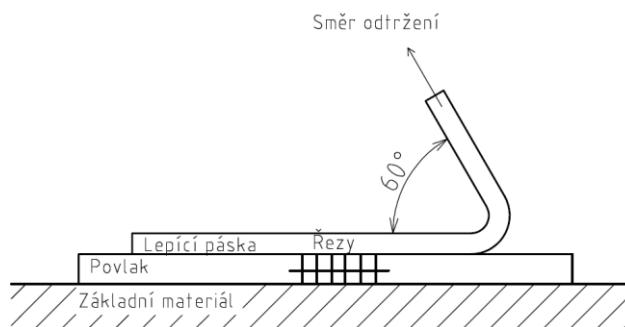
Obr. 8.6 – Měřicí přístroj Elcometr 456

8.6 Mřížková zkouška přilnavosti a zkouška křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2

Mřížková zkouška má za úkol určit odolnost nátěrového systému vůči adheznímu a koheznímu poškození řezem. Metoda je vhodná pro povlaky, které mají velikost suché tloušťky nátěru do 250 μm a je prováděna dle normy ČSN EN ISO 2409 [16]. Základem zkoušky je vytvoření vodorovných a svislých řezů, které jsou na sebe kolmé. Řez musí být veden dostatečnou silou, aby došlo k prořezání nátěrové hmoty až na podkladový materiál. Vzdálenost mezi jednotlivými břity nástroje je určena tloušťkou nátěru. Následně se měkkým štětcem odstraní zbytky nátěru podél obou úhlopříček mřížky. Dalším krokem je přilepení a přitlačení lepicí pásky na vzniklé řezy. Lepicí páska je široká 50 mm a síla potřebná k jejímu odtržení je 10 ± 1 N. Posledními kroky jsou odtržení lepicí pásky pod úhlem 60° (obr. 8.8), nalepení na kontrastní podklad (bílý papír) a vyhodnocení, které je vyjádřeno stupněm poškození mřížky (obr. 8.7).

Vzhled plochy mřížky						
% poškození mřížky	0%	<5%	<15%	<35%	<65%	>65%
Klasifikace	0	1	2	3	4	5

Obr. 8.7 – Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky [8]



Obr. 8.8 – Směr odtrhu pásky

8.7 Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16 276-1

Jedná se o destruktivní zkoušku, která stanoví minimální tahové napětí nutné k odtržení nejslabší mezifáze (adhezní lom) nebo nejslabší složky (kohezní lom). Odtrhová zkouška se provádí na jednovrstvém nebo vícevrstevném nátěrovém systému. Prvním krokem zkoušky je jemné obroušení nátěru a normalizovaného zkušebního válečku, který je vyroben z hliníkové slitiny. Dalším krokem je namíchání dvousložkového epoxidového lepidla araldite. Mísící poměr je 1:1 a doba vytvrzení 24 hodin. Po vytvrzení lepidla se kruhovým řezným nástrojem poruší nátěr kolem válečku až na podkladový materiál. Dále je kolem válečku položen ocelový prstenec a na zkušební váleček nasunut odtrhoměr. Otáčením páky odtrhoměru vyvoláváme tahové napětí až do roztržení zkušebního uspořádání. Z odtrhoměru je odečtena hodnota tahového napětí a vyhodnotí se charakteristika lomové plochy. Norma ČSN EN ISO 16276-1 určuje následující typy lomů:

- A kohezní poškození podkladu,
- A/B adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou (základem),
- B kohezní poškození první vrstvy,
- B/Y adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem,
- Y kohezní poškození lepidla,
- Y/Z adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem. [9]

8.8 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle normy ČSN EN ISO 9227

Dle ČSN EN ISO 9227 jsou stanoveny přístroje, chemikálie a postup zkoušky v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného, kterým se zjišťuje protikorozní odolnost kovových materiálů, jak nechráněných, tak i s ochrannými povlaky nebo s dočasnou protikorozní ochranou. [10] Korozní zkouška proběhla v korozní komoře typu S 400 M TR firmy Liebisch.

Podmínky v korozní komoře:

- pH rozprašovaného roztoku je v rozmezí 6,5 – 7,2,
- zkušební vzorky nejsou vystaveny přímému postřiku mlhou z rozprašovače,
- teplota ve zkušební komoře se doporučuje 35 ± 2 °C

Postup zkoušky:

- Zhotovení nátěrového povlaku na připravený vzorek.
- Poškození vzorků řezem zasahujícím až do podkladové vrstvy, který simuluje poškození nátěrového systému.
- Oblepení okrajů a hran páskou.
- Vložení vzorků do korozní komory.
- Vyjmutí vzorků po skončení zkoušky, oschnutí a následný oplach vzorků
- Vyhodnocení zkoušky dle ČSN EN ISO 4628-2,4,5,8 a provedení odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-1, mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu dle normy ČSN EN ISO 16276-2.


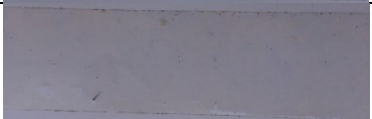
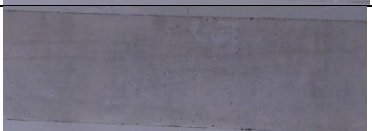


Obr. 8.9 – Korozní komora [18]

9. Výsledky experimentálních prací

9.1 Hodnocení zaprášenosti povrchu dle normy ČSN ISO 8502-3

Tab. 5 - *Vyhodnocení zaprášenosti povrchu*

Vzorek	Stupeň zaprášení	Třída velikosti částic	Fotodokumentace (lepící páska)
zaprášeny	4	3	
odmaštěný	1	0	
broušený	2	2	

Z výsledků zkoušky je patrné že uměle zaprášený povrch obsahoval částice jasně viditelné prostým okem a jejich rozšíření na lepící pásce je značné. U odmaštěného povrchu byla naměřena vysoká čistota povrchu, což potvrzuje výhody odmašťování. Na broušeném povrchu byly zjištěny částice již viditelné pouhým okem do velikosti 100 μm v průměru.

9.2 Měření drsnosti povrchu dle normy ČSN EN ISO 4287

Měření drsnosti proběhlo vždy na jednom vzorku ze sady. V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné hodnoty drsnosti povrchu. Nastavení měřicího přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301:

- Délka měřeného úseku $l=12,5$ mm, filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti $\lambda_c=2,5$ mm, standart měření ISO 1997

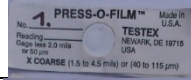
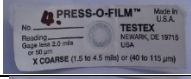

Tab. 6 – *Vyhodnocení drsnosti povrchu*

	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]
Podélný směr	Zaprášeny	5,54	28,98
Příčný směr		5,79	30,68
Podélný směr	Odmaštěný	4,22	21,93
Příčný směr		4,88	25,05
Podélný směr	Broušený	2,74	18,07
Příčný směr		2,90	20,20

9.3 Měření výšky kotvícího profilu

Na každé pásce byla měřena výška kotvícího profilu na třech různých místech. V tabulce 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty z těchto třech měření po odečtení tloušťky pásky.



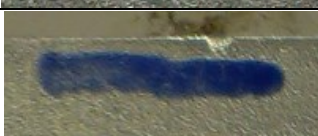
Tab. 7 – Vyhodnocení výšky kotvícího profilu

	Vzorek	Průměrná výška kotvícího profilu [μm]	Fotodokumentace (měřicí páska)
Páska 1	Zaprášený	63	
Páska 4	Odmaštěný	47	
Páska 5	Broušený	47	

9.4 Měření povrchového napětí – Arcotest

Při měření byl použit inkoust s hodnotou povrchového napětí 38 mN/m. Po nanesení inkoustu zůstala linka po dobu 2 sekund na povrchu materiálu nezměněna (neslila se v kapky). Povrchové napětí je tedy nad hodnotou 38 mN/m a povrch je vhodný k aplikaci nátěru.

Tab. 8 – Vyhodnocení Arcotestu

Vzorek	Fotodokumentace (Arcotest)	Vyhodnocení
Zaprášený		Vyhovuje
Odmaštěný		Vyhovuje
Broušený		Vyhovuje

9.5 Aplikace nátěru, měření mokré a suché tloušťky nátěru

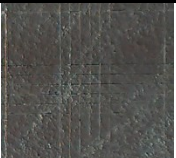





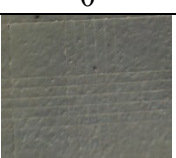
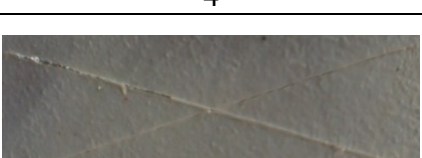



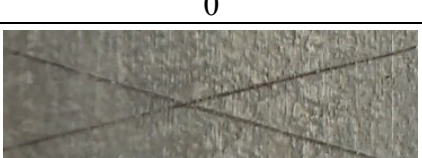
Nátěrová hmota byla nanášena ručně štětcem. Požadovaná vrstva mokré vrstvy nátěru byla 150 μm . Během nanášení transparentní nátěrové hmoty byla tloušťka průběžně měřena, dokud nebylo docíleno vrstvy od 125 do 175 μm . Po zaschnutí nátěru bylo provedeno na vzorcích měření suché tloušťky nátěru pomocí přístroje Elcometr 456. Nejdříve byla změřena strana destičky, na které byl pouze zinkový povlak. Poté byla snímána strana s nátěrovou hmotou. Na každé straně vzorku proběhlo 12 měření, přístroj vypočítal průměrnou, minimální a maximální tloušťku povlaku. Pro kontrolu rovnoměrnosti nátěrové hmoty bylo provedeno měření tloušťky nátěru v okolí válečku, který byl součástí odtrhové zkoušky. Hodnoty z tohoto měření se lišily od tloušťky nátěru na celém vzorku v řádech mikrometrů a z výsledné tabulky jsou kvůli přehlednosti vyjmuty. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 9.

Tab. 9 – Hodnoty suché tloušťky nátěru

Vzorek		Měřený povlak	Průměrná tloušťka nátěru [μm]	Minimální tloušťka nátěru [μm]	Maximální tloušťka nátěru [μm]
10	Zaprášený	Zinek	87,93	81,5	97,1
		Zinek + nátěr	131,2	105	165
11		Zinek	84,36	71,2	97,3
		Zinek + nátěr	112,1	101	126
12		Zinek	83,88	75,1	93,3
		Zinek + nátěr	125,7	113	144
64	Odmaštěný	Zinek	92,89	82,4	106
		Zinek + nátěr	163,2	154	173
65		Zinek	92,88	83,4	103
		Zinek + nátěr	168,5	119	209
66		Zinek	86,69	78,7	104
		Zinek + nátěr	141,7	113	165
1	Broušený	Zinek	89,87	79,3	106
		Zinek + nátěr	135,8	103	189
52		Zinek	95,5	79,6	106
		Zinek + nátěr	125,5	112	162
21		Zinek	80,88	66,9	90,4
		Zinek + nátěr	111,6	91,8	141

9.6 Mřížková zkouška přilnavosti a zkouška křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2

Tab. 10 – *Vyhodnocení mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu*






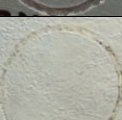

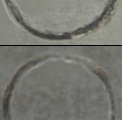

Vzorek		Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)	Fotodokumentace (křížový řez)
10	zaprášžený		
Hodnocení		0	0
11	zaprášžený		
Hodnocení		0	0
64	odmaštěný		
Hodnocení		0	4
65	odmaštěný		
Hodnocení		0	0
1	broušený		
Hodnocení		0	0
52	broušený		
Hodnocení		0	0

Během zkoušky byly hodnoceny mechanické a technologické vlastnosti nátěrového systému aplikovaného na povrch žárově zinkovaný ponorem. U mřížkové zkoušky přilnavosti dopadl nátěrový systém velmi dobře. Nedocházelo k odlupování ani odpadávání. U křížového

řezu dopadl nejhůře vzorek 64, kdy odpadla většina plochy pod lepicí páskou. U zbytku vzorků byl výsledek 0 – žádné odlupování nebo odpadávání nátěru.

9.7 Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1

Tab. 11 – *Vyhodnocení zkoušky přilnavosti*

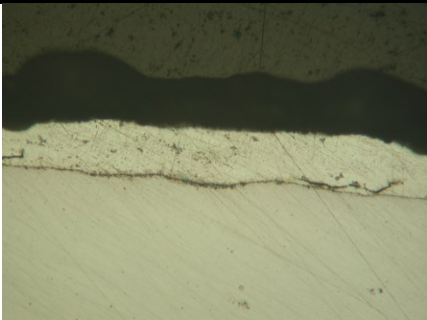
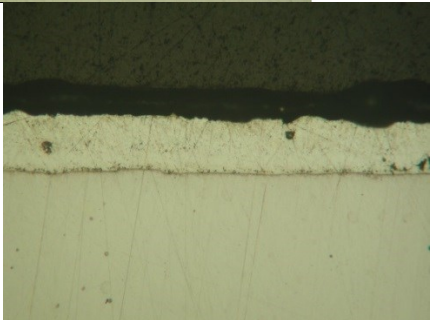
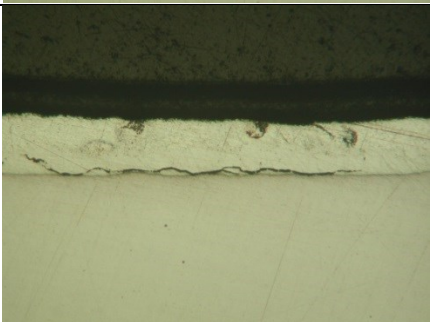
Vzorek číslo	Úprava povrchu	Odtrhová pevnost [MPa]	Charakteristika lomu [%]	Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)
10	zaprášžený	5	10A/B, 90B/Y	
11		4	100B/Y	
11		5	100B/Y	
64	odmaštěný	6	100B/Y	
64		7	5A/B, 95B/Y	
65		7	100B/Y	
1	broušený	4,5	100B/Y	
52		6	100B/Y	
52		6	100B/Y	

Vzorky dosáhly dobrých výsledků přilnavosti nátěrového systému k podkladovému materiálu. Hodnoty odtrhové pevnosti se pohybovali v rozmezí od 4 do 7 MPa. Nejlepších výsledků dosáhly odmaštěné vzorky, kde byla hodnota odtrhové pevnosti 6 až 7 MPa. Ve většině případů se jednalo o adhezní porušení mezi vrstvou nátěru a lepidla.

9.8 Zhotovení řezů a metalografických snímků nátěrového systému

Ze vzorků 10, 52 a 65 byly řezacím strojem odděleny destičky, které byly posléze zality do technického dentakrylu (obr. 9.1). Následně byly vzorky broušeny a leštěny. Posledním krokem bylo pořízení mikrosnímků na mikroskopu Neophot 2. Zvětšení snímku bylo 80x.

Tab. 12 – Metalografické snímky nátěrového systému

Vzorek	Fotodokumentace (metalografický snímek)		
10			<p>← Dentakryl</p> <p>← Barva</p> <p>← Zinek</p> <p>← Základní materiál</p>
52			
65			



Obr. 9.1 – Destičky zalité v dentakrylu

9.9 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle normy ČSN EN ISO 9227

Tab. 13 – *Hodnocení degradace nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628-2,4,5,8*

Vzorek		Doba zkoušky	Stupeň puchýřkování dle EN ISO 4628-2	Stupeň praskání dle EN ISO 4628-4	Odlupování nátěru dle EN ISO 4628-5	Stupeň delaminace a koroze kolem řezu dle EN ISO 4628-8
		[hod]	[stupeň]	[stupeň]	[stupeň]	[stupeň]
12	Zaprášený	24	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0
		100	5(S2)	0(S0)	0(S0)	0
66	Odmaštěný	24	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0
		100	4(S2)	0(S0)	0(S0)	0
21	Broušený	24	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0
		100	3(S2)	0(S0)	0(S0)	0

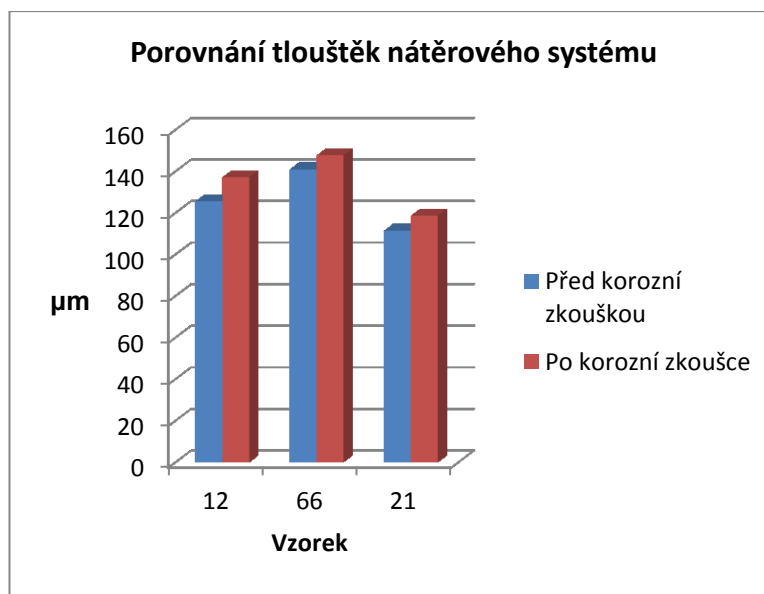
Po provedené korozní zkoušce byl sledován charakter a rozsah korozního napadení. Delaminace a koroze kolem řezu, praskání a odlupování nátěru nebylo na vzorcích vyzorováno. U všech vzorků byly zaznamenány puchýřky. Velikost puchýřku byla klasifikována stupněm S2. Četnost těchto puchýřků se lišila podle předúpravy povrchu. Nejlepších výsledků dosáhl povrch broušený a nejhorších povrch zaprášený.

9.9.1 Měření suché tloušťky nátěru po expozici v korozní komoře

Tab. 14 – Hodnoty suché tloušťky nátěru po expozici v korozní komoře

Vzorek		Měřený povlak	Průměrná tloušťka nátěru [μm]	Minimální tloušťka nátěru [μm]	Maximální tloušťka nátěru [μm]
12	Zaprášený	Zinek	93,24	78,5	126
		Zinek + barva	137,3	126	155
		Okolí odtrhu	139,3	130	153
			146,5	130	174
66	Odmaštěný	Zinek	94,24	81,5	119
		Zinek + barva	147,8	124	170
		Okolí odtrhu	149,7	123	173
			148,3	102	175
21	Broušený	Zinek	96,13	74,8	145
		Zinek + barva	118,8	106	141
		Okolí odtrhu	113,3	104	122
			129,3	115	143

Porovnání tlouštěk suché vrstvy nátěru před a po expozici korozní komoře









Graf 1 – Porovnání tlouštěk nátěrového systému

Z grafu je patrné že se tloušťka nátěrového systému po expozici v korozní komoře nepatrně zvýšila a to přibližně o 10 %. Na broušeném vzorku byla pozorována nejmenší tloušťka nátěru. Rozdíly tlouštěk nátěru mezi jednotlivými vzorky jsou zapříčiněny především způsobem nanášení nátěrové hmoty, kterým bylo ruční nanášení.

9.9.2 Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v korozní komoře dle ČSN EN ISO 16 276-1





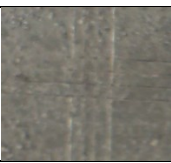
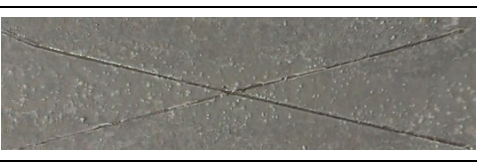
Tab. 15 – Vyhodnocení zkoušky přilnavosti po korozní komoře

Vzorek číslo	Úprava povrchu	Odtrhová pevnost [MPa]	Charakteristika lomu [%]	Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)	
12	Zaprášený	4	90A/B 10% B/Y		
12		4,5	100A/B		
66	Odmaštěný	4	100A/B		
66		3,5	100A/B		
21	Broušený	5	15A/B 45B/Y 40Y/Z		
21		7	60A/B 40B/Y		

Účelem korozní zkoušky bylo studium vlivu korozního prostředí na zkoumaný transparentní nátěr po dobu 100 hodin. Naměřená odtrhová pevnost se výrazně neliší od vzorků nevystavených v korozní komoře a pohybovala se v rozmezí od 3,5 do 7 MPa. Charakteristika lomu u zaprášeného a odmaštěného vzorku ukazuje, že došlo k odtržení většiny nátěru od podkladu. U broušeného vzorku zůstalo zhruba 40% nátěru na podkladovém materiálu.

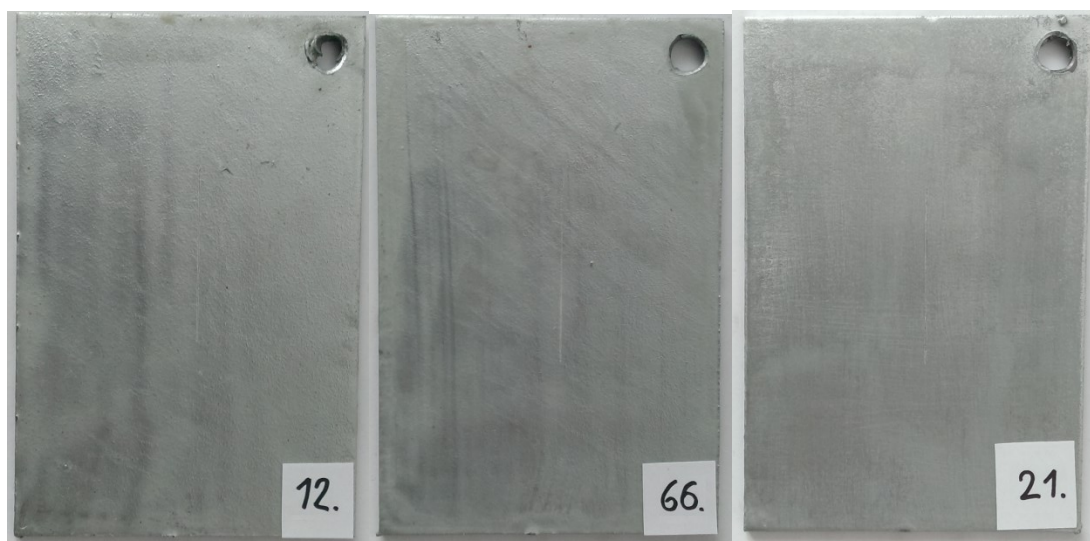
9.9.3 Mřížková zkouška přilnavosti a zkouška křížovým řezem po expozici v korozní komoře dle ČSN EN ISO 16276-2

Tab. 16 - Vyhodnocení mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu po expozici v korozní komoře

Vzorek		Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)		Fotodokumentace (křížový řez)
12	zaprášný			
Hodnocení		0		0
66	odmaštěný			
Hodnocení		4		4
21	broušený			
Hodnocení		0		0

Na zaprášeném a broušeném vzorku nebylo vyhodnoceno žádné poškození. Nejhorší dopadl vzorek odmaštěný. Poškození mřížky bylo klasifikované stupněm 4 – poškozená plocha je větší než 35% ale menší než 65%. U křížového řezu bylo pozorováno odlupování podél téměř celé délky řezu. Po korozní zkoušce bylo pozorováno zhoršení výsledků mřížkové zkoušky přilnavosti u odmaštěného vzorku z hodnoty 0 na 4. U ostatních vzorků se přilnavost nátěrového systému nezhoršila.

9.9.4 Fotodokumentace vzorků před vložením do korozní komory



Obr. 9.2 – Fotodokumentace vzorků 12,66 a 21 před vložením do korozní komory

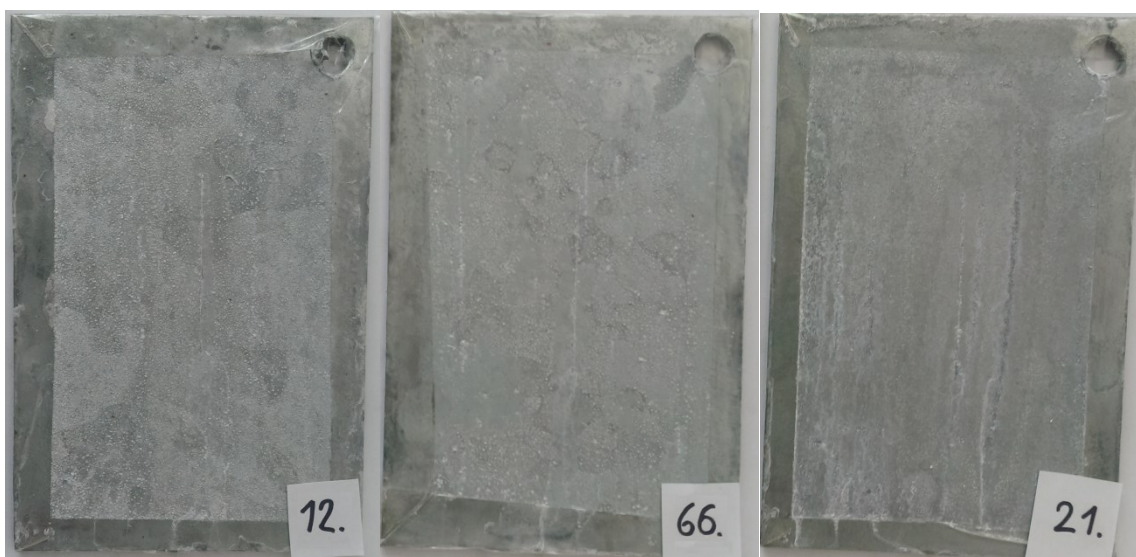
9.9.5 Fotodokumentace vzorku po 24 hodinách v korozní komoře



Obr. 9.3 – Fotodokumentace vzorku po 24 hodinách v korozní komoře

Po 24 hodinách v korozní komoře nebylo na vzorcích pozorováno žádné poškození.

9.9.6 Fotodokumentace vzorků po 100 hodinách v korozní komoře



Obr. 9.4 – *Fotodokumentace vzorků po 100 hodinách v korozní komoře*

Vzorky vykazovaly po 100 hodinách v korozní komoře dobré výsledky. Neprojevilo se praskání a odlupování nátěru. Delaminace a koroze kolem řezu nebyla vyzorována. Na všech vzorcích se objevily puchýřky velikosti S2 s různou četností.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo studium dočasné protikorozní ochrany konstrukcí žárově zinkovaných ponorem. Bakalářská práce byla rozdělena na část teoretickou a experimentální.

Teoretická část pojednává o korozi, jejím rozdělení a o možných způsobech ochrany proti korozi. Dále je zde popsáno žárové zinkování a to jak předúpravu povrchu před procesem zinkování, tak i samotné žárové zinkování ponorem. Další kapitola je zaměřená na korozi zinkových povlaků v různých prostředích. V následující části popisují duplexní systémy, jejich životnost a možné opravy vad těchto systémů. Posledním bodem teoretické části je nátěrový systém, kde je uvedeno složení a způsoby nanášení nátěrových hmot.

Experimentální práce byly zaměřeny na hodnocení mechanických a technologických vlastností a korozní odolnosti testovaného nátěru. Mým úkolem bylo porovnat tyto vlastnosti na třech typech povrchů (uměle zaprášený, odmaštěný, broušený) a zjistit jestli testovaný nátěr poskytuje dostatečnou dočasnou protikorozní ochranu. Na vzorcích bylo provedeno měření drsnosti povrchu a z výsledků vyplývá, že je podklad ideální pro ukotvení nátěrové hmoty. Při arcotestu bylo prokázáno vysoké povrchové napětí, které je předpokladem k dobré přilnavosti nátěru. Následně byl na vzorky ručním nanášením aplikován nátěrový systém požadované tloušťky.

Dalším krokem bylo hodnocení přilnavosti nátěrové hmoty k povrchu materiálu a to před a po korozní zkoušce v umělé atmosféře. Před korozní zkouškou vykazoval nátěrový systém velmi dobré výsledky mřížkové zkoušky přilnavosti, křížového řezu i odtrhové zkoušky. Klasifikační stupeň mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu byl 0. Pouze u vzorku 64 došlo k částečnému odloupení nátěru. Odtrhová pevnost nátěrové hmoty se pohybovala v rozmezí 4 až 7 MPa. Po provedené korozní zkoušce byl sledován rozsah a charakter korozního napadení, kdy se objevilo pouze puchýřkování. U zkoušek přilnavosti bylo pozorováno mírné zhoršení výsledků a to jak mřížkové zkoušky přilnavosti, křížového řezu tak i odtrhové zkoušky.

Experimentální zkoušky prokázaly, že nátěrový systém dosahoval dobrých výsledků a byla zajištěna dostatečná přilnavost a protikorozní ochrana. Nátěr je tedy vhodný jako dočasná protikorozní ochrana žárově zinkovaných konstrukcí ponorem.

Seznam použitých zdrojů

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 2000. ISBN 80-707-8953-0.
- [2] *Příručka žárového zinkování*. [4., aktualiz. vyd.]. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2011. ISBN 978-802-6033-240.
- [3] POMETLO, Stanislav. *Technologie žárového zinkování*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [4] VLASTIMIL KUKLÍK, Jan Kudláček. *Žárové zinkování*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014. ISBN 978-809-0529-823.
- [5] Moření a pasivace nerezí. [Http://www.aco-industries.cz/](http://www.aco-industries.cz/) [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.aco-industries.cz/co-delame/kooperace/moreni-a-pasivace-nerez/>
- [6] Duplexní povlaky ocelových konstrukcí. 2012. [Http://www.konstrukce.cz/](http://www.konstrukce.cz/) [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/duplexni-povlaky-ocelovych-konstrukci/>
- [7] KRAUS, Václav. 2000. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 216 s. ISBN 80-708-2668-1.
- [8] ČSN EN ISO 16276-2 – *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha, Český normalizační institut, 2008.

- [9] ČSN EN ISO 16 276-1 – *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 1: Odtrhová zkouška*. Praha, Český normalizační institut
- [10] ČSN EN ISO 9227 – *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha, Český normalizační institut, 2007.
- [11] Duplexní povlaky. [Http://www.eurometal.cz/](http://www.eurometal.cz/) [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.eurometal.cz/cs/duplexni-povlaky>
- [12] Natírání kovů. [Http://www.radyprokutily.cz/](http://www.radyprokutily.cz/) [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.radyprokutily.cz/pokyny-krok-za-krokem/59/Nat%C3%ADr%C3%A1n%C3%AD-kov%C5%AF>
- [13] SIKA CZ, S.R.O. 2008. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí: Praktické nátěrové systémy Sika® pro všechny důležité oblasti použití*. Dostupné také z: <http://www.sika-shop.cz/files/cz-con-bro-ochrana-oceli7.pdf>
- [14] Elektrostatické stříkací pistole (I). 2012. [Http://www.kremtech.cz/](http://www.kremtech.cz/) [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.kremtech.cz/index.php?page=pruvodce-vyberem-strikaci-techniky&subpage=elektrostaticke-strikaci-pistole-i>
- [15] ČSN ISO 8502-3 : *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha : Český normalizační institut, Srpen 1999. 12 s.
- [16] ČSN EN ISO 2409 – *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha, Český normalizační institut, 2008.
- [17] PROINEX INSTRUMENTS, S.R.O. *Měření povrchového napětí (mastnoty)*. Dostupné také z: <http://www.proinex.cz/PDF/%C4%8Cistota%20podkladu/Mastnota%20-%20Inkousty%20a%20fixy.pdf>

- [18] Siostrzonek, R.: *Studium vývojové řady ochranných systémů na bázi siloxanu*. Ostrava VŠB – technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2007, 150 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.
- [19] Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí duplexními povlaky. 2015. [Http://www.konstrukce.cz/](http://www.konstrukce.cz/) [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/protikorozni-ochrana-ocelovych-konstrukci-duplexnimi-povlaky/>

Seznam obrázků

Obr. 1.1 – Svodidlo opatřené nátěrem a žárově zinkované	10
Obr. 1.2 – Ochranný povlak	13
Obr. 2.1 – Moření ponorem	14
Obr. 2.2 – Postup suchého zinkování	15
Obr. 2.3 – Postup mokrého zinkování	15
Obr. 3.1 – Exponovaný povrch zinkového povlaku	17
Obr. 3.2 – Bílá rez	19
Obr. 5.1 – Ruční nanášení nátěrové hmoty	27
Obr. 5.2 – Schéma elektrostatického stříkání	28
Obr. 7.1 – Detail povrchu uměle zaprášeného vzorku	32
Obr. 7.2 – Detail povrchu odmaštěného vzorku	32
Obr. 7.3 – Detail povrchu broušeného vzorku	32
Obr. 8.1 – Obrazová stupnice odpovídající množství prachu	33
Obr. 8.2 – Znázornění příčného a podélného směru při měření drsnosti	34
Obr. 8.3 – Sada pro měření výšky kotvícího profilu	35
Obr. 8.4 – Sada inkoustů	35
Obr. 8.5 – Hřebenová měrka	36
Obr. 8.6 – Měřicí přístroj Elcometr 456	37
Obr. 8.7 – Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky.....	37
Obr. 8.8 – Směr odtrhu pásky.....	38
Obr. 8.9 – Korozní komora.....	39
Obr. 9.1 – Destičky zalité v dentakrylu	45
Obr. 9.2 – Fotodokumentace vzorků 12,66 a 21 před vložením do korozní komory.....	50
Obr. 9.3 – Fotodokumentace vzorku po 24 hodinách v korozní komoře.....	50
Obr. 9.4 – Fotodokumentace vzorků po 100 hodinách v korozní komoře.....	51

Seznam tabulek

Tab. 1 – Rozdělení koroze.....	11
Tab. 2 - Stupně korozní agresivity atmosféry podle ČSN EN ISO 12944.....	18
Tab. 3 – Chemické složení oceli	31
Tab. 4 – Třídy velikostí prachových částic	33
Tab. 5 - Vyhodnocení zaprášenosti povrchu	40
Tab. 6 – Vyhodnocení drsnosti povrchu	40
Tab. 7 – Vyhodnocení výšky kotvícího profilu	41
Tab. 8 – Vyhodnocení Arcotestu	41
Tab. 9 – Hodnoty suché tloušťky nátěru	42
Tab. 10 – Vyhodnocení mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu	43
Tab. 11 – Vyhodnocení zkoušky přilnavosti	44
Tab. 12 – Metalografické snímky nátěrového systému.....	45
Tab. 13 – Hodnocení degradace nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628-2,4,5,8.....	46
Tab. 14 – Hodnoty suché tloušťky nátěru po expozici v korozní komoře	47
Tab. 15 – Vyhodnocení zkoušky přilnavosti po korozní komoře	48
Tab. 16 - Vyhodnocení mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu po expozici v korozní komoře.....	49

Poděkování

Děkuji panu Ing. Renému Siostrzonkovi, Ph.D., za možnost vypracovat bakalářskou práci pod jeho odborným vedením a za cenné rady a připomínky při její tvorbě. Dále bych chtěl poděkovat svojí rodině za podporu po celou dobu mého studia.